

## **Energietechnik (Alternative Energien)**

Andreas Gronauer, Florian Zerobin, Tobias Pröll, Christoph Pfeifer, Christian Aschauer,  
Gerhard Moitzi, Alexander Bauer  
BOKU Wien

### **Kurzfassung**

Agrarische Roh- und Reststoffe können zur Bereitstellung von Biotreibstoffen für mobile Anwendungen (z.B.: Biodiesel, Biomethan, Bioethanol, ...), von Strom und Wärme (z.B.: über Biogasproduktion mit anschließender Verstromung) sowie von Wärme (über Verbrennung) eingesetzt werden. Alternativ kann der Anbau von Feldfrüchten unter Photovoltaikpaneelen erfolgen, welcher eine Mehrfachnutzung des Bodens ermöglicht und zur Entschärfung der Flächenkonkurrenz beiträgt. Die Strategien einer stofflichen und energetischen Nutzung von Ackerfrüchten als Substitut fossiler Rohstoffe stehen teilweise in Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion. In eine nachhaltige Nutzungsstrategie müssen die Biomassepotentiale in Produktionssystemen mit dem Ziel der Erfüllung der 4F (Food, Feed, Fiber and Fuels) genutzt werden.

### **Schlüsselwörter**

Verbrennung, hydrothermale Karbonisierung, Biotreibstoffe, Torrefizierung, Agrivoltaik, Trocknung, Effizienzsteigerung, Brennwerttechnologie, Ascheschmelzverhalten

## **Energy management (Renewable Energy)**

Andreas Gronauer, Florian Zerobin, Tobias Pröll, Christoph Pfeifer, Christian Aschauer,  
Gerhard Moitzi, Alexander Bauer  
BOKU Wien

### **Abstract**

Agricultural raw and waste materials can be used to produce biofuels for transport (e.g. biodiesel, biomethane, bioethanol, etc.), as well as electricity and heat (e.g. from biogas production with subsequent combustion in a gas engine, heat from incineration). Alternatively, cultivating crops under photovoltaic panels allows shared usage of soil and eases land use competition. Substituting fossil resources with the material and energetic utilization of crops cannot be achieved without competing with food production. A sustainable utilization strategy must implement the biomass potentials with the goal of fulfilling the 4Fs (food, feed, fiber and fuels).

### **Keywords**

Combustion, hydrothermal carbonisation, biofuels, torrefaction, agrivoltaic, drying, efficiency increase, condensing boiler technology, ash melting

## Einleitung

Europa steht vor der großen Herausforderung, eine leistungsfähige, klimaschonende und importunabhängige Energieversorgung aufzubauen. Die Nutzung von Energiepflanzen zur Energieproduktion steht jedoch in direkter Konkurrenz zur menschlichen Ernährung, was Einflüsse auf die Preisentwicklung und die Versorgungssicherheit von Lebensmitteln nach sich zieht. Der FAO Food Price Index von international gehandelten Lebensmitteln ist von 97,7 Punkten im Jahr 2003 auf ein Maximum von 230,1 Punkten im Jahr 2011 gestiegen und lag zuletzt im Oktober 2013 bei 205,8 Punkten [1]. Diese Entwicklung entspricht mehr als einer Verdoppelung des FAO Food Price Index innerhalb von 10 Jahren. Der starke Anstieg liegt nicht nur an der Energieproduktion aus Biomasse sondern an anderen Faktoren, zu denen nach Mitchell, FAO und Glaser Missernten, Spekulationen an den internationalen Börsen, eine steigende Nachfrage nach Getreide und Ölsaaten in verschiedenen asiatischen Staaten, ein Anstieg der Produktionskosten und eine Zunahme der Produktion von Biotreibstoffen auf Basis von Energiepflanzen zählen [2 bis 4].

Die Erzeugung von Biotreibstoffen und Bioenergie aus agrarischen Roh- und Reststoffen sowie kommunalen Nebenprodukten und Abfällen umfasst eine umfangreiche Produktionskette, beginnend bei agrarischer Biomasse mit dem Pflanzenbau, über die Ernte bis hin zur Konservierung. Die Techniken hierfür sind beim Einsatz von klassischen Energiepflanzen ausgereift und in der Praxis vielfach bewährt. Biotreibstoffe und Bioenergie können aus verschiedensten Einsatzstoffen gewonnen werden, wobei die Palette an potentiellen Substraten von einjährigen Ackerpflanzen (Mais, Cerealien, Zwischenfrüchte) über landwirtschaftliche Abfallprodukte (z.B. Wirtschaftsdünger und Stroh) bis zur Verwertung kommunaler und industrieller Abfälle reicht. Die zuvor angesprochenen Nutzungskonflikte zwischen der Erzeugung von Lebens- und Futtermitteln und der Gewinnung von Rohstoffen, Biotreibstoffen sowie Bioenergie können nur durch die Nutzung von agrarischen und kommunalen Nebenprodukten minimiert werden. Eine Vielzahl an Technologien trägt in unterschiedlicher Weise zu einer nachhaltigen Stoff- und Energienutzung bei.

Verschiedene Technologien stehen für die Nutzung Biomasse zu Verfügung. Eine erste Möglichkeit ist die Umwandlung von Biomasse über thermo-chemische Verfahren zu Synthesegas, welches direkt verstromt werden kann oder über Syntheseprozesse verschiedenste Biotreibstoffe hergestellt werden können. Eine weitere Nutzungsmöglichkeit stellt die mikrobielle Umwandlung in verschiedenste Energieträgern, wobei in der Praxis die Biogasherstellung eine dominante Rolle einnimmt. Eine dritte Möglichkeit besteht in einer thermischen Verwertung der Biomasse durch die klassische Verbrennung der Rohstoffe oder aber durch die Verbrennung von feuchter Biomasse nach Aufbereitung mittels hydrothormaler Karbonisierung. Auch eine direkte Nutzung der in der Biomasse gespeicherten Sonnenenergie über die Herstellung von Elektrizität und thermischer Energie in der Landwirtschaft ist denkbar, muss jedoch in die bestehenden Systeme integriert werden.

Der Einsatz biogener Brennstoffe für die Energiebereitstellung ermöglicht eine Reduktion von Treibhausgasemissionen sowie verbleibende Wertschöpfung in der Region und eine Minderung der Importabhängigkeit von Energie. Durch die forcierte Nutzung von Holz kann es re-

gional zu Verknappungen dieser Ressource und damit einhergehend zu steigenden Brennstoffkosten kommen. Einen Beitrag zur Entspannung dieser Situation können alternative, biogene Festbrennstoffe leisten [5].

## **Erzeugung und Nutzung erneuerbarer Energien**

### *Thermo-chemische Umwandlungstechnologien zur Herstellung von Biokraftstoffen der zweiten Generation*

Unter Biokraftstoffen werden hochwertige Energieträger (z.B.: Biodiesel, Bio-Ethanol, Bio-SNG<sup>1</sup> - etc.) für den mobilen Einsatz verstanden, die auf Biomasse als Primärrohstoff zurückgehen. Es wird zwischen Biotreibstoffen der ersten Generation und der zweiten Generation unterschieden. Bei ersteren handelt es sich um flüssige Kraftstoffe (Biodiesel, Bio-Ethanol, aus landwirtschaftlichen Produkten und bei zweiteren um Energieträger, die auf Biomasse aus extensiver Landnutzung bzw. auf Reststoffen basieren. Biotreibstoffen der zweiten Generation wird ein großes Potential aufgrund des spezifisch geringeren Aufwandes zur Erzeugung der Einsatzstoffe und einem wesentlich höheren Umwandlungswirkungsgrad bescheinigt [6].

In den vergangenen Jahrzehnten wurden Prozesse zur Umwandlung von Biomasse in Synthesegas (i.w. Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid) mittels thermo-chemischen Umwandlungstechnologien, insbesondere von thermischer Vergasung, intensiv beforscht [7]. Aus diesem Synthesegas lassen sich beinahe beliebige Chemikalien und Kraftstoffe herstellen: Fischer-Tropsch Diesel, Ottokraftstoffe, Wasserstoff, SNG, Methanol, Ethanol, Dimethylether, Kerosin, etc. [8]. Im Folgenden werden aktuelle Anwendungen für den agrarischen Bereich herausgegriffen.

Am Karlsruher Institut für Technologie wird das sogenannte bioliq-Verfahren entwickelt, welches auf der Umwandlung von regional in großen Mengen anfallender Restbiomasse durch dezentrale Schnellpyrolyse und zentraler Verarbeitung der Pyrolyseöle und des Pyrolysekoks basiert [9]. Diese Rohprodukte werden in einem Flugstromvergaser bei über 1200°C zu einem teerfreien, methanarmen Rohsynthesegas umgesetzt, gereinigt und anschließend zu flüssigen Treibstoffen synthetisiert [10].

Im sogenannten BioTfuel Projekt werden Stroh, Forstabfälle und Getreide nach einer Torrefizierung (siehe Abschnitt Verbrennung) einer Kohlevergasung zugeführt und anschließend zu Biodiesel der 2. Generation oder Jetfuel (z.B.: Kerosin) synthetisiert [11]. Das Konsortium besteht aus: Axens, CEA (French Alternative Energies and Atomic Energy Commission), IFPEN, Sofiprotéol, ThyssenKrupp Uhde und Total [12].

In Güssing, Österreich ist rund um das Biomassekraftwerk, basierend auf Zweibett-Wirbelschicht-Dampfvergasung [13], eine Plattform zur Synthese von Biokraftstoffen (SNG, Mixed Alcohols, Fischer-Tropsch Diesel) entstanden [8]. 1MW BioSNG wird aus einem Teilstrom des erzeugten Produktgases hergestellt und über eine Erdgas-Tankstelle bereitgestellt

---

<sup>1</sup> SNG – Synthetic bzw. Substitute Natural Gas – synthetisches Erdgas

[14]. Die Produktion von Fischer-Tropsch Diesel und Mixed Alcohols befinden sich derzeit im Pilotmaßstab.

In Göteborg, Schweden wurde im Jahr 2013 im Rahmen des Projektes GoBiGas eine Demonstrationsanlage zur Produktion von 20MW BioSNG aus Waldhackgut sowie Forstrückständen in Betrieb genommen. Als Technologie kommt ebenfalls eine Zweibett-Wirbelschicht-Dampfvergasung mit nachgeschalteter Methanierung im Festbett (bereitgestellt von Haldor-Topsoe) zum Einsatz. Das Gas wird als Treibstoff sowie für industrielle Anwendungen verwendet [15].

#### *Nutzung agrarischer Reststoffe zur Biogasherstellung*

Beim Einsatz landwirtschaftlicher Reststoffe in einer Biogasanlage liegt die große Herausforderung in einer effizienten Nutzung der Materialien. Durch die vermehrte Nutzung landwirtschaftlicher Reststoffe ist eine effiziente Vorbehandlungstechnologie in den vergangenen Jahren immer mehr zum Gegenstand wissenschaftlicher Forschung geworden. Prinzipiell kann Biomasse in chemischen, enzymatisch/biologischen oder physikalischen Verfahren vorbehandelt werden. Zu den physikalischen Vorbehandlungsmethoden zählen unter anderem die mechanische Zerkleinerung sowie die Veränderung von Druck und Temperatur. Ersteres ist in der Praxis schon etabliert, allerdings stammen die verwendeten Geräte aus verschiedenen industriellen Anwendungsbereichen, sodass der Einsatz noch nicht uneingeschränkt möglich ist. Ein weiteres, Vorbehandlungsverfahren ist ein thermisch-physikalisches Verfahren, welches den Einsatz agrarischen Reststoffen sowie organische Abfallstoffe aus Kommunen und Industrie in Biogasanlagen ermöglicht [16 bis 19].

Der Einsatz von agrarischen Reststoffen erfordert eine Anpassung der Lagersysteme. Die klassischen Konservierungsverfahren können für manche Biomassen nur eingeschränkt verwendet werden, vor allem wenn die Biomasse für eine Silierung zu trocken und für eine trockene Lagerung jedoch noch zu feucht ist. Der Silierverlauf mit Strohanteilen ist derzeit jedoch noch nicht vollständig untersucht und bedarf weiterer Forschung [20]. Bei Nutzung von agrarischen Reststoffen muss ein besonderes Augenmerk auf die Humusbilanz der Anbauflächen gelegt werden. Durch die vollständige Nutzung der Biomasse kann es zu einem negativen Humussaldo kommen, vor allem dann, wenn Gärreste nicht mehr rückgeführt werden. Aktuelle Untersuchungen wurden dazu von Möller et al. und Reinhold gemacht [21 bis 24]. Möller zeigt jedoch auf, dass sich die Humusbilanz von Gärresten, welche fermentierte Gülle, Ernterückstände und Zwischenfrüchte beinhalten, nicht von Stallmist unterscheidet [21]. Der Grund dafür liegt darin, dass bei Stallmist während der Rotte C-Verluste entstehen und während der Fermentation ein Teil des C gezielt zur Energieerzeugung verbraucht wird. Sowohl Möller als auch Reinhold betonen die Wichtigkeit der Ausbringung der Gärreste auf die landwirtschaftlichen Flächen [21; 23].

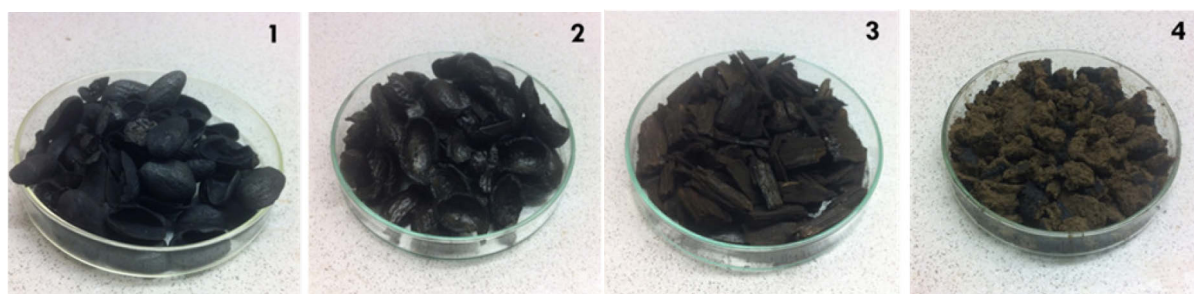
#### *Verbrennung agrarischer Roh- und Reststoffe*

Ein Ansatzpunkt ist der Einsatz von agrarischen Brennstoffen in pelletierter Form für den Einsatz in Biomassekleinfeuerungen. Die eingesetzten Materialien (z.B.: Miscanthus, Stroh, Mais, Heu, etc.) weisen folgende Eigenschaften auf: erhöhter Aschegehalt im Vergleich zu

Holz (10-20 fach) und dadurch verringerter Ascheerweichungspunkt (300-600°C niedriger), erhöhte Konzentrationen an Schadstoffen (Schwefel, Chlor, Alkalimetallen, etc.) und generell starke Schwankungen bei den Brennstoffeigenschaften [25]. Dadurch ergeben sich besondere Herausforderungen an die Feuerungstechnik denen mit folgenden Maßnahmen begegnet werden kann: bewegte Rostsysteme, aktiver Ascheaustrag, Sekundärmaßnahmen zur Emissionsreduktion und Einsatz von korrosionsbeständigen Materialien [26]. Es zeigen sich jedoch ökonomische und ökologische Vorteile durch den Einsatz von agrarischen Brennstoffen bei Feuerungen in kleinen und mittleren Leistungsbereichen [5].

Eine alternative Nutzungsmöglichkeit agrarischer Roh- und Reststoffe ist die Torrefizierung von Biomasse. Unter Torrefizierung versteht man eine milde Pyrolyse unter Sauerstoffabschluss bei Temperaturen zwischen 200 und 300°C mit geringen Aufheizgeschwindigkeiten (<50°C/min) und Reaktorverweilzeiten im Minutenbereich (<60min). Primäres Ziel dieses Prozesses ist es, feste Biomasse für die thermische Konversion (insbesondere zur Verbrennung und Vergasung) so aufzubereiten, dass verbesserte Eigenschaften im Vergleich zu naturbelassenen, biogenen Festbrennstoffen erreicht werden. Torrefizierte Materialien weisen neben hydrophoben Eigenschaften eine erhöhte Energiedichte auf und sind mahlbar. Daher eignet sich torrefizierte Biomasse hervorragend für eine Pelletierung bzw. Brikettierung. Mehrere Demonstrationsanlagen sind derzeit in Planung bzw. Inbetriebnahme. Einen Überblick über aktuelle Projekte liefern Wild sowie Koppejan et al. [27; 28].

Eine Möglichkeit, feuchte, biogene Abfall-, Roh- und Reststoffe zu nutzen, stellt die hydrothermale Karbonisierung (HTC) dar. Es handelt sich dabei um einen thermo-chemischen Prozess zur Konversion biogener Einsatzstoffe zu hydrophoben Feststoffen (HTC Kohle) mit, im Vergleich zum Einsatzstoff, reduziertem Gewicht und erhöhtem Heizwert. Der Prozess läuft bei Drücken von 10-20 bar und Temperaturen von 170-250 °C für 6-12 Stunden ab. Das Produkt eignet sich unter anderem als effizienter Sekundärenergieträger. Es lassen sich verschiedenste Einsatzstoffe karbonisieren [29]. An der Universität für Bodenkultur Wien (Institut für Verfahrenstechnik) wird die Karbonisierbarkeit unterschiedlicher Einsatzstoffe (Klärschlamm, Reste aus der Lebensmittelindustrie, land- und forstwirtschaftliche Einsatzstoffe, etc.) untersucht. **Bild 1** zeigt ausgewählte Produkte aus hydrothormaler Karbonisierung [30].



**Bild 1:** HTC Kohlen: (1) Erdnussschalen, (2) Pistazienschalen, (3) Holzpellets, (4) Fermentierter Grünschnitt [30]

**Figure 1:** HTC products (1) peanut shells (2) pistachio shells (3) wood chips (4) fermented green waste [30]

### *Nutzung von Solarenergie in der Landwirtschaft*

Aufgrund der Flächenkonkurrenz zwischen Energie, Nahrung und Treibstoff werden Möglichkeiten der Mehrfachnutzung der Bodenfläche gesucht. Dupraz et al. untersuchte die Idee, die Landnutzung durch die Kombination von Photovoltaikpaneelen und Feldfrüchten zu optimieren [31]. Für dieses agrivoltaische System (AVS)<sup>2</sup> wurde mit Lichttransmissions- und Wachstumsmodellen die Produktivität von Pflanzen unter teilverschatteten Bedingungen berechnet und mit Hilfe eines abgewandelten „Land Equivalent Ratio (LER)“ verglichen. Der LER ist ein Index um die Produktivität von Mischkulturen mit Monokulturen zu vergleichen. Dabei werden die Erträge des Pflanzenanbaus eines Agrovoltai-Systems den Erträgen einer Monokultur gegenübergestellt und die Stromerträge eines AVS mit den Erträgen einer Standard Photovoltaikanlage verglichen. Ein LER > 1 bedeutet dass das Mischsystem produktiver ist als das System bei dem Pflanzen und Photovoltaik auf getrennten Flächen stehen. Um den Einfluss der Belegungsdichte durch die Photovoltaik zu erfassen wurden zwei Systeme modelliert. Das Full Density System (FD) ist auf maximale elektrische Energiegewinnung ausgerichtet und das Half Density System (HD), welches auf den halben Ertrag des FD-Systems dimensioniert wurde.

Um den Einfluss der Verschattung auf Pflanzen und die klimatischen Bedingungen unter den Photovoltaikpaneelen zu untersuchen wurden Wachstumsversuche mit Salat durchgeführt und die relevanten Parameter erfasst [32; 33].

Das Experiment zeigte, dass sich Pflanzen wie bspw. Salat an die geringere Verfügbarkeit von Licht teilweise bis vollständig anpassen können und, dass durch Pflanzenzüchtung und Anordnung der Paneele eine Optimierung hinsichtlich des besten Kompromisses zwischen Nahrungsmittel- und Stromproduktion möglich wird. Die klimatischen Bedingungen unter einer kleinen Photovoltaikanlage gleichen nicht den Bedingungen innerhalb eines Gewächshauses sondern entsprechen den Produktionsbedingungen am freien Feld.

Die Trocknung von agrarischen Gütern ist ein energieintensiver Prozess. Die Nutzung von Solarenergie als erneuerbare und frei verfügbare Energieform ist in Zeiten begrenzter Ressourcen interessant. Unterschiedliche Systeme zur Solarenergienutzung wurden entwickelt und getestet [34 bis 36]. Um die Solarenergie optimal zu nutzen sind fortgeschrittene Steuerungsalgorithmen notwendig [36]. Es wird sowohl thermische Energie für den Trocknungsprozess als auch elektrische Energie für den Betrieb von Ventilatoren benötigt. PV/T-Kollektoren bieten die Möglichkeit die Solarstrahlung in elektrische Energie als auch in thermische Energie umzuwandeln. Im Bereich der Belüftungstrocknung zur Heukonservierung werden neuerdings ganze Dächer von landwirtschaftlichen Gebäuden als PV/T Kollektoren ausgebildet indem das Dach mit Photovoltaikpaneelen eingedeckt und die Luft vor dem Trocknungsprozess unterhalb der Paneele durchgesaugt wird (**Bild 2**).

---

<sup>2</sup> Agrivoltai: Agrar und Photovoltaik in Anlehnung an den Begriff Agroforest



**Bild 2:** Aktuelle Umsetzungsbeispiele von als PV/T Kollektoren ausgebildete Dächer landwirtschaftlicher Gebäude in Bayern (links) und in Osttirol (rechts)

**Figure 2:** Current examples of implementation of roofs designed as PV/T-collector on agricultural buildings in Bavaria (left) and in East Tyrol (right)

Untersuchungen zeigen dass ein 4 bis 5-faches der elektrischen Energie als thermische Energie genutzt werden kann [37]. Ein weiterer positiver Effekt ist die Kühlung der Solarzellen durch den Luftstrom wobei eine Absenkung der Zellentemperatur um ein Grad eine Zunahme der Stromproduktion von 0,4% bewirkt.

## Energieeinsatz und -effizienz in der Landwirtschaft

### *Kraftstoffeinsatz in der Landwirtschaft*

Ein treibender Faktor für mehr Energieeffizienz ist die globale und regionale Knappheit konventioneller wie auch alternativer Energieträger [38]. Der produkt- bzw. maschinenzentrierte Ansatz zur Steigerung der Energieeffizienz in der europäischen Ökodesign-Richtlinie wird von den Verbänden der Landmaschinen (CEMA) - und Baumaschinentechnik (CECE) als nicht zielführend angesehen, weil die komplexen Zusammenhänge nicht berücksichtigt werden. Die beiden Verbände CEMA (European Agricultural Machinery Association) und CECE (Committee for European Construction Equipment) fordern eine Effizienzverbesserungsstrategie, welche in einem ganzheitlichen Ansatz auf Säulen der Maschineneffizienz, Prozesseffizienz, Bediener-effizienz und alternativen Energieträgern basiert.

Ein Beispiel zur Verbesserung der Prozesseffizienz ist der Einsatz von GPS-gestützten automatischen Lenksystemen bei Traktoren und selbstfahrenden Landmaschinen. Neben Arbeitszeit- und Kraftstoffeinsparungen von bis zu 10 %, kann auch der Einsatz von Pflanzenschutz- und Düngemitteln, durch Minderung der Überlappung, reduziert werden [39]. Untersuchungen zu RTK-gestützten Lenkautomaten im Freilandgemüsebau zeigten, dass diese Systeme auch bei Gemüsebaubetrieben kleinerer und mittlerer Größe wirtschaftlich sein können [40].

Dieselmotorkraftstoff wird aufgrund seiner hohen Energiedichte weiterhin als primäre Antriebsquelle in der Landwirtschaft dienen. Hybridsysteme für die Landtechnik gewinnen jedoch an Bedeutung da durch elektrische Antriebe Vorteile in der exakten Regelbarkeit, Drehzahlvariabilität und Überlastfähigkeit gegeben sind. Eine breite Einführung von elektrisch teilbetriebenen Landmaschinen, die mit Strom aus dieselektrischen Systemen versorgt werden, ist in den nächsten 5 bis 10 Jahren zu erwarten [41].

Durch zunehmende Transportaktivitäten mit Traktoren und steigenden Kraftstoffkosten gewinnen die Optimierung der Getriebeeffizienz und die elektronische Motorsteuerung an Bedeutung. Neben den klassischen Lastschaltgetrieben mit hohem Getriebewirkungsgrad und den stufenlosen Varianten mit mehr Fahrkomfort werden auch Doppelkupplungsgetriebe eingesetzt. In einem Praxistest mit zwei baugleichen Traktoren der Leistungsklasse über 150 kW konnte festgestellt werden, dass die Kraftstoffkosten beim Traktor mit dem Doppelkupplungsgetriebe um 8,6 % geringer waren als beim stufenlosen Getriebe [42].

Ab 1. Januar 2014 gilt laut EU-Verordnung Richtlinie 99/96/EG bzw. Richtlinie 2005/55/EG für Traktoren ab der Leistungsklasse 130 kW die Abgasnorm IV, die aktive Eingriffe in das Motormanagement und eine Abgasbehandlung (SCR-System) erfordern. Untersuchungen an einem Praxisprüfstand zeigten, dass durch den Einsatz von AdBlue-Systemen Einsparungen größer 10 % beim Dieserverbrauch erreicht werden können, die im praktischen Feldeinsatz nutzbar zu machen sind [43].

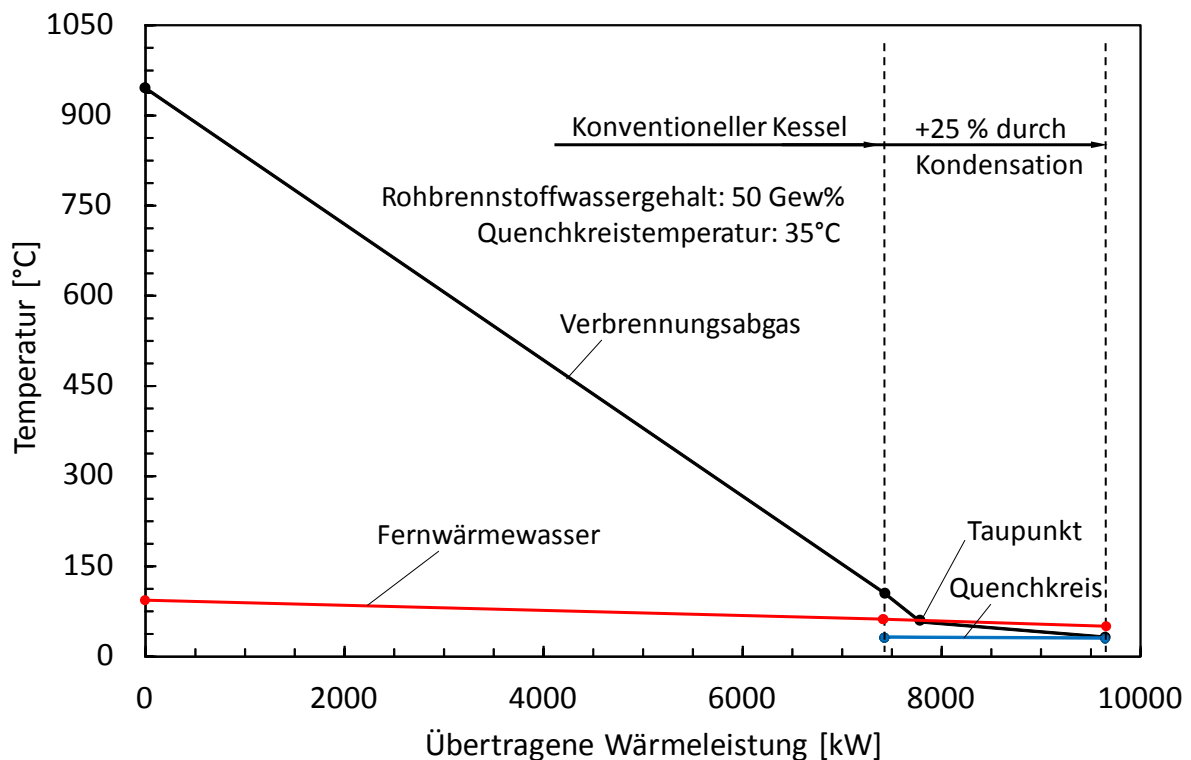
#### *Verbesserte Nutzung thermische Energie in der Landwirtschaft*

Hackgutbefeuerte Heizwerke zur Nahwärme-Versorgung sind mittlerweile weit verbreitet und übernehmen eine wichtige Rolle in der regionalen Energieversorgung. Für landwirtschaftliche Reststoffe ergeben sich vielfältige Verwendungsmöglichkeiten. Eine davon ist die thermische Verwertung in Biomassekraftwerken zur Energiegewinnung. Der Fokus liegt bei dahingehenden Untersuchungen auf dem Wassergehalt (Lagerungsfähigkeit, Verbrennungstemperatur), Zusammensetzung (Ascheschmelzverhalten, Korrosion) und Pelletierbarkeit der Biomasse.

Von LandwirtInnen aus dem italienischen Zentralraum wurden Produktionsrückstände aus der Wein- bzw. Tomatenproduktion zur Verfügung gestellt und an der polytechnischen Universität von Ancona untersucht [44; 45]. Bestimmt wurden Wassergehalt, Heiz- und Brennwert, Aschegehalt, sowie ein chemischer Nachweis ausgewählter Aschebestandteile. Verglichen mit Holz weisen Weintraubenrückstände hohe Gehalte an S, Cl, N sowie K und Cu auf, die die Korrosivität der Abgase mitbestimmen und für eine erhöhte Schadstoff- und Flugaschebelastung sorgen. Das Ascheschmelzverhalten war zufriedenstellend, lediglich die Stiele wiesen verringerte Ascheschmelztemperaturen auf. Aufgrund der hohen Feuchte im Ausgangszustand (59 % Wein-, 73 % Tomatenrückstände) empfiehlt sich die Zufeuerung in Kesseln für konventionelle Biomasse (z.B. Hackschnitzelkessel) bzw. das Pressen von Öl aus den Samen und ein Trocknungsschritt vor der thermischen Verwertung. Das Potential zur Energiebereitstellung aus der Ernte von 1 ha Weingärten wurde auf ca. 19 GJ Wärme geschätzt (entspricht etwa 5300 kWh, 1300 kg Hackschnitzel oder 500 Liter Heizöl). Die Verbrennungsrückstände können laut der Studie wieder auf die Felder ausgebracht werden.



Durch den Einsatz eines Brennwertkessels kann die Leistung (Nutzung der im Wasserdampf des Abgases enthaltenen Energie) deutlich erhöht werden (**Bild 3**). In konventionellen Biomassekraftwerken wird meist Waldhackgut eingesetzt, welches relativ hohe Wassergehalte von 35-50 Gew% aufweist. Dies hat hohe Wasserdampfgehalte im Abgas zur Folge. Wird diese Wassermenge über das Abgas ausgestoßen, fällt der thermische Wirkungsgrad des Kessels ab und das notwendige Brennstoffaufkommen steigt, weil die Verdampfungs-/Kondensationswärme ungenützt bleibt. Die Kesselanlagen kommen allerdings mit dem feuchten Brennstoff gut zurecht was die Betriebsführung und Temperaturverteilung im Kessel betrifft.

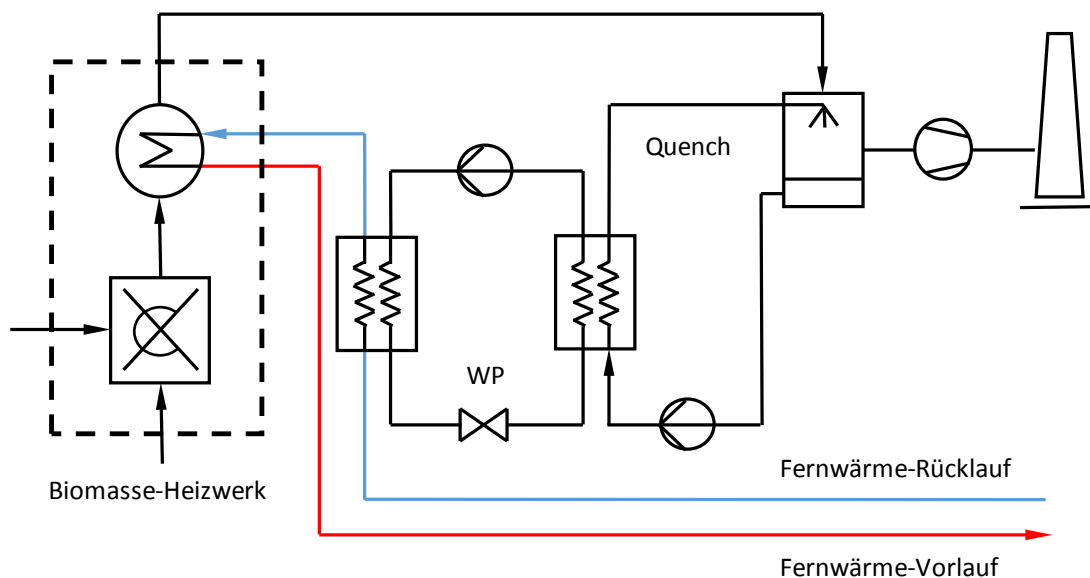


**Bild 3:** Erzielbarer Energiegewinn durch Rauchgaskondensation in Biomasseheizwerken (Beispiel)

**Figure 3:** Achievable heat output improvement with a condensing boiler (example figure).

Die Wirksamkeit eines (passiven) Brennwertkessels wird jedoch lokal begrenzt von der Temperatur des Fernwärmenetz-Rücklaufs. Ist diese Temperatur zu hoch, kann nicht die volle Wassermenge auskondensiert werden und die erhoffte Einsparung bleibt aus. Korrosionsprobleme an Wärmeüberträgern haben außerdem verhindert, dass sich diese Technologie im Biomassebereich etabliert, obwohl sie bei Öl-&Gasbrennern bereits zum Stand der Technik zählt [46]. Der in **Bild 4** dargestellte gemeinsame Einsatz von Quench- und Wärmepumpentechnologie zur „aktiven“ Rauchgaskondensation stellt einen eleganten Ansatz zur Optimierung solcher Anlagen dar. Durch Eindüsen von Prozesswasser wird heißes Abgas unter den Taupunkt abgekühlt und die im Gas enthaltene Feuchte kondensiert zum großen

Teil. Durch diese Vorgehensweise werden Korrosionsprobleme vermieden, da die ebenfalls kondensierenden sauren Komponenten nur in verdünnter Form auftreten. Das Quenchwasser gibt dann seine Wärme über einen Wärmepumpenkreislauf an den Rücklauf des Fernwärmenetzes ab. Durch den geringen Temperaturhub von 20 - 40 °C erreichen die Wärmepumpen gute Leistungsziffern. Zudem erfolgt die Wärmeaufnahme bei Wärmepumpen bei konstantem Temperaturniveau und die Rückvermischung im Quenchwasserkreis wirkt sich demnach nicht auf die Effizienz der Wärmepumpe aus. Diese kostengünstige Technologie ersetzt korrosionsbeständig auszuführende Wärmeüberträger und die erforderlichen Wärmepumpen sind am Markt verfügbar.



**Bild 4:** Schema einer aktiven Rauchgaskondensationsanlage mit Wärmepumpe

**Figure 4:** Condensing boiler with active heat integration using a heat pump

Die Technologie der aktiven Rauchgaskondensation mit Wärmepumpen wurde von österreichischen und schwedischen WissenschaftlerInnen untersucht und für Anlagen ab 50 kW [47] bzw. 100 kW [46] für wirtschaftlich befunden. Ein großer Teil der Kondensationswärme kann wiedergewonnen werden und das zeigt sich deutlich in einer Kostenrechnung [46]: Für ein 10 MW Biomasseheizkraftwerk betragen die jährlichen Einsparungen etwa 100.000 €. Dem gegenüber stehen Investitionskosten von rund 400.000 € (Energie-&Heizkostenpreise Feb.2012, 120 °C Abgastemp., 50 °C Rückflusstemp., 4 % Zinsen). Drei österreichische Biomasseheizwerke in St.Gilgen, Flachau sowie Tamsweg wurden bis Ende 2013 mit der Technik der aktiven Rauchgaskondensation ausgestattet.

## **Zusammenfassung und Ausblick**

Vor dem Hintergrund einer immer größer werdenden Ressourcenknappheit stellt sich die große Herausforderung, eine leistungsfähige, klimaschonende und importunabhängige Energieversorgung aufzubauen. Die Landwirtschaft kann hierbei, vor allem auch durch die Erschließung neuer Potentiale, welche sich etwa durch die Nutzung von Reststoffen ergeben, einen wesentlichen Beitrag leisten. Mittels thermo-chemischer Umwandlung können hochwertige Biotreibstoffe der ersten und zweiten Generation produziert werden. Ein möglicher Weg zur Herstellung führt über Synthesegas aus dem eine ganze Reihe an Kraftstoffen wie Fischer-Tropsch Diesel, Ottokraftstoffe, Wasserstoff, Methanol, Kerosin etc. erzeugt werden kann. Um landwirtschaftliche Reststoffe effizient zur Erzeugung von Biogas nutzen zu können, ist ein Vorbehandlungsschritt zum Aufschluss der Ligno-Zellulose-Komplexe empfehlenswert. Ein aussichtsreiches Verfahren hierbei ist die thermisch-physikalische Vorbehandlung (sog. Steam Explosion), welche bereits in Pilotanlagen getestet wird. Immer häufiger dienen organische Reststoffe als Substrate zur Biogasgewinnung, was eine Anpassung der Lager- und Konservierungssysteme unumgänglich macht, da diese Stoffe für eine Silierung oft zu trocken, für eine trockene Lagerung jedoch zu feucht sind. Eine weitere Möglichkeit, agrarische Stoffe zu nutzen, ergibt sich durch Verbrennung. Es herrschen aber im Vergleich zu Holz geänderte Prozessbedingungen, verursacht durch einen höheren Aschegehalt, geringeren Ascheerweichungspunkt, erhöhte Konzentration an Schadstoffen und starke Schwankungen bei den Brennstoffeigenschaften. Eine alternative Nutzungsstrategie bietet sich durch die Torrefizierung als Vorbehandlungsschritt (milde Pyrolyse unter Sauerstoffabschluss) an, wodurch u.a. die Energiedichte erhöht wird. Systeme, welche die Energiegewinnung via Photovoltaikpaneele mit dem Anbau von Feldfrüchten kombinieren, entschärfen die Flächenkonkurrenz da sie die Flächen mehrfach nutzen. Die allgemeine Knappheit an Energieträgern zeigt sich auch in der Entwicklung von landtechnischen Maschinen und Geräten, um den Energieeinsatz zu senken und die Effizienz zu steigern. Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz von GPS-gestützten automatischen Lenksystemen bei Traktoren und selbstfahrenden Landmaschinen.

Die veränderten Rahmenbedingungen in den vergangenen Jahren haben die limitierte Verfügbarkeit von Ackerfrüchten gezeigt. Die bisher verfolgten Strategien der stofflichen und energetischen Nutzung von Ackerfrüchten als Substitut fossiler Rohstoffe kann nicht ohne Konkurrenz zur menschlichen Ernährung erreicht werden. Diese Konkurrenzsituation kann nur dann aufgelöst werden, wenn agrarische Nebenprodukte stofflich und energetisch genutzt werden und gleichzeitig die Versorgung des Bodens mit Nährstoffen und humusbildenden Stoffen nicht außer Acht gelassen wird. Um eine nachhaltige Nutzungsstrategie entwickeln zu können, müssen die Biomassepotentiale in nachhaltigen Produktionssystemen mit dem Ziel der Erfüllung der 4F (Food, Feed, Fiber and Fuels) unter Berücksichtigung lokaler Diversität detailliert erhoben werden.

## Literatur

- [1] FAO, 2013. World Food Situation [Online]. Available: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/FoodPricesIndex/en/>.
- [2] Mitchell, D., 2008. A Note on Rising Food Prices. Policy research working paper 4682. Washington, D.C., The World Bank, Development prospect Group.
- [3] FAO 2008. The State of Food and Agriculture 2008, Biofuels: Prospects, Risks and Opportunities. Agricultural Biotechnology-meeting the Needs of the Poor. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [4] Glaser J.A. 2009. Right to food and agrofuels. Clean Technologies and Environmental Policy, 1-4.
- [5] mixBioPells. 03/2014. [Online]. Available: <http://www.mixbiopells.eu/de/home.html>.
- [6] O'Connor, D. 2013. Advanced Biofuels – GHG Emissions and Energy Balances, Report IEA Bioenergy Task 39.
- [7] Kaltschmitt, M., Hartmann, H., Hofbauer, H. 2009. Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer Verlag, Berlin.
- [8] Rauch, R., Hrbek, J., Hofbauer, H. 2013. Biomass gasification for synthesis gas production and applications of the syngas. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment.
- [9] bioliq. 03/2014. [Online]. Available: <http://www.bioliq.de/>.
- [10] Sauer, J., Ceccarelli, C. 2014. Designer-Kraftstoffe aus biogenen Resten. Trendbook Nachhaltige Papierwirtschaft 2013/2014, <http://www.bioliq.de/97.php>.
- [11] Radtke, K. 2012. Uhde's fluidised bed and entrained flow gasification technologies for biomass and coal. in: SGC International Seminar on Gasification 2012. Stockholm, Sweden, October 18–19, 2012.
- [12] Ifpenergiesnouvelles, 2014. <http://www.ifpenergiesnouvelles.com/axes-de-recherche/energies-renouvelables/carburants-ex-biomasse>, 28. März 2014
- [13] Rauch, R. 2012. CHP-Plant Güssing, Austria. in: Handbook Biomass Gasification Second Edition. , (Ed.) H. Knoef, BTG Biomass Technology Group BV, pp. 32-36.
- [14] Rehling, B. 2012. Development of the 1MW Bio-SNG plant, evaluation on technological and economical aspects and upscaling considerations, PhD thesis, Vienna University of Technology.
- [15] Gobigas, 03/2014. [Online]. Available: [http://gobigas.goteborgenergi.se/En/About\\_us](http://gobigas.goteborgenergi.se/En/About_us)
- [16] Bauer, A., Lizasoain, J., Theuretzbacher, F., Agger, J.W., Rincón, M., Menardo, S., Saylor, M.K., Enguádanos, R., Nielsen, P.J., Potthast, A., Zweckmair, T., Gronauer, A., Horn, S.J. 2014. Steam explosion pretreatment for enhancing biogas production of late harvested hay. Bioresource Technology, 166, pp. 403-410.
- [17] Estevez, M.M., Sapci, Z., Linjordet, R., Schnürer, A., Morken, J. 2014. Semi-continuous anaerobic co-digestion of cow manure and steam-exploded Salix with recirculation of liquid digestate Journal of Environmental Management, 136, pp. 9-15.

- [18] Risberg, K., Sun, L., Levén, L., Horn, S.J., Schnürer, A. 2013. Biogas production from wheat straw and manure - Impact of pretreatment and process operating parameters. *Bioresource Technology*, 149, pp. 232-237.
- [19] Vivekanand, V., Ryden, P., Horn, S.J., Tapp, H.S., Wellner, N., Eijssink, V.G.H., Waldron, K.W. (2012) Impact of steam explosion on biogas production from rape straw in relation to changes in chemical composition. *Bioresource Technology*, 123, pp. 608-615.
- [20] Zeller, V., Weiser, C., Hennenberg, K., Reinicke, F., Schaubach, K., Thrän, T., Vetter, A., Wagner, B. 2012. Basisinformationen für eine nachhaltige Nutzung von landwirtschaftlichen Reststoffen zur Bioenergiebereitstellung. DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
- [21] Möller, K. 2011. Biogas im Öko-Landbau: Ist die Vergärung von Biomasse und Reststoffen nachhaltig?, *Naturland Nachrichten*.
- [22] Möller, K., Schulz, R., Müller, T. 2009. Mit Gärresten richtig Düngen. Aktuelle Informationen für Berater, Universität Hohenheim. Institut für Pflanzenbau.
- [23] Reinhold, G. 2013. Gärrückstände. Positiver Einfluss auf den Humusgehalt. *Biogas Journal*, 6/2013.
- [24] Reinhold, J. 2008. Potenziale der Kreislaufwirtschaft (Aufkommen und Qualität) aus Anlagen, die Bioabfälle und nachwachsende Rohstoffe verarbeiten, Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.
- [25] Wopienka, E. 2011. Agrarische Brennstoffe für Biomassekleinfeuerungen. in: Mitteleuropäische Biomassekonferenz 2011, 26.-29. Jänner, Graz, Österreich.
- [26] Wopienka, E. 2009. Agricultural fuels – hope & reality. in: World Sustainable Energy Days, 25-27 Februar 2009, Wels.
- [27] Wild, M. 2014. Torrefaction – International Overview of Developments on This Novel Technology, IEA Task 40 Torrefaction Workshop. in: Mitteleuropäische Biomassekonferenz 2014, 15.-17. Jänner, Graz, Österreich.
- [28] Koppejan, J., Sokhansanj, S., Melin, S., Madrali, S. 2012. Status overview of torrefaction technologies. IEA Bioenergy Task 32 report.
- [29] Ramke, H.-G., Blöhse, D., Lehmann, H.J., Antonietti, M., Fettig, J. 2010. Machbarkeitsstudie zur Energiegewinnung aus organischen Siedlungsabfällen durch Hydrothermale Carbonisierung. Deutsche Bundesstiftung.
- [30] Preinknoll, C. 2013. Experimentelle Parameter Variation bei der hydrothermalen Karbonisierung von nachwachsenden Rohstoffen, Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Verfahrens- und Energietechnik.
- [31] Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A., Ferard, Y. 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agri-voltaic schemes. *Renewable Energy*, 36(10), 2725-2732.
- [32] Marrou, H., Guilioni, L., Dufour, L., Dupraz, C., Wery, J. 2013. Microclimate under agri-voltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology*, 177(0), 117-132.

- [33] Marrou, H., Wery, J., Dufour, L., Dupraz, C. 2013. Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels. *European Journal of Agronomy*, 44, 54-66.
- [34] Bennamoun, L. 2013. Integration of Photovoltaic Cells in Solar Drying Systems. *Drying Technology*, 31(11), 1284-1296.
- [35] Ceylan, I., Kaya, M., Gürel, A.E., Ergun, A. 2013. Energy Analysis of a New Design of a Photovoltaic Cell-Assisted Solar Dryer. *Drying Technology*, 31(9), 1077-1082.
- [36] Farkas, I. 2013. Integrated Use of Solar Energy for Crop Drying. *Drying Technology*, 31(8), 866-871.
- [37] Caenegem, L., Bollhalder, H., Dörfler, R., Gazzarin, C., Nydegger, F., Ott, H., Pasca, A., Schmidlin, A. 2009. Thermische Nutzung von In-Dach-Photovoltaikanlagen. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon.
- [38] Wulfmeier, K., Frerichs, L. 2012. Die Effizienzbewertung der Landtechnik - Herausforderungen durch die europäische Ökodesign-Richtlinie, Vol. 67, *Landtechnik* pp. 445 - 448.
- [39] Landerl, G. 2009. Untersuchungen zum Nutzen und zu Genauigkeiten von GPS-gestützten Parallelfahrssystemen (Lenkhilfe, Lenkassistent und Lenkautomat) bei Traktoren. , Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- [40] Schwarz, H.-P., Hege, D. 2013. Einsparpotenziale durch RTK-gestützte Lenkautomaten im Freilandgemüsebau. *Landtechnik*, 68(3), 160-163.
- [41] Karner, J., Baldinger, M., Schober, P., Reichl, B., Prankl, H. 2013. Hybridsysteme für die Landtechnik. *Landtechnik*, 68(2), 126-129.
- [42] Reckleben, Y., Thomsen, H. 2013. Getriebevergleich bei Traktoren im Straßentransport. *Landtechnik*, 68(2), 126-129.
- [43] Reckleben, Y., Trefflich, S., Thomsen, H. 2013. Auswirkung der Abgasnorm auf den Kraftstoffverbrauch von Traktoren im praktischen Einsatz. *Landtechnik*, 68(5), 322-326.
- [44] Rossini, G., Toscano, G., Duca, D., Corinaldesi, F., Pedretti, E.F., Riva, G. 2013. Analysis of the characteristics of the tomato manufacturing residues finalized to the energy recovery. *Biomass and Bioenergy*, 51, 177-182.
- [45] Toscano, G., Riva, G., Duca, D., Pedretti, E.F., Corinaldesi, F., Rossini, G. 2013. Analysis of the characteristics of the residues of the wine production chain finalized to their industrial and energy recovery. *Biomass and Bioenergy*, 55, 260-267.
- [46] Hebenstreit, B., Schnetzinger, R., Ohnmacht, R., Höftberger, E., Lundgren, J., Haslinger, W., Toffolo, A. 2014. Techno-economic study of a heat pump enhanced flue gas heat recovery for biomass boilers. *Biomass and Bioenergy*.
- [47] Hebenstreit, B., Schnetzinger, R., Höftberger, E. 2012. Endbericht ActiveCond. Bioenergy2020+.
- [48] Europäisches Parlament: Richtlinie 94/12/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. März 1994 über Maßnahmen gegen die Verunreinigungen der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 70/220/EWG. Amtsblatt der Europäischen Union. 19. 4 1994, L100, S. 42-52.

- [49] Europäisches Parlament: Richtlinie 98/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 1998 über Maßnahmen gegen die Verunreinigung der Luft durch Emissionen von Kraftfahrzeugen und zu Änderung der Richtlinie 70/220/EWG des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union. 28. 12 1998, L350, S. 1-57. Berichtigung in ABl. L104 vom 21.4.1999, S. 31.

---

**Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

**Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Gronauer, Andreas; Bauer, Alexander; Aschauer, Christian; Moitzi, Gerhard; Pfeifer, Christoph; Zerin, Florian; Pröll, Tobias: Energietechnik. Alternative Energien. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2013. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2014. S. 1-15

**Zitierfähige URL / Citable URL**

<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00055033>

**Link zum Beitrag / Link to Article**

<http://www.jahrbuch-agrartechnik.de/index.php/artikelansicht/items/170.html>